



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

A ESTABILIDADE NOS EDIFÍCIOS DE MÚLTIPLOS PAVIMENTOS COM A ADOÇÃO DE NÚCLEOS RÍGIDOS

João José de Castro Neto¹, Daniel Iglesias de Carvalho², André Soares Mendes³

¹CEULP ULBRA /Departamento de Engenharia Civil / jjcn3000@hotmail.com

²CEULP ULBRA/ UFT /Departamento de Engenharia Civil / daniel.iglesias.carvalho@gmail.com

³CEULP ULBRA/IFTO/ Departamento de Engenharia Civil/ andremendes@ceulp.edu.br

Resumo

A tendência atual e futura é cada vez mais analisar as estruturas de forma global, considerando a interação dos diversos elementos, até com o solo. Seguindo essa tendência, as normas brasileiras e os programas computacionais comerciais tornam-se mais complexos, bem como os métodos de análise e dimensionamento. Procurando contribuir nessa questão, este trabalho reúne informações necessárias à concepção e ao projeto estrutural de edifícios, tais como a concepção estrutural, abrangendo os diferentes tipos de sistemas estruturais para os pavimentos dos edifícios, a estruturação vertical, necessária para garantir a estabilidade global, com a descrição dos conceitos relativos aos parâmetros α e gama-z (γ_z), modelos de análise de deslocamentos e esforços solicitantes dos elementos estruturais do pavimento (lajes maciças isoladas, grelhas, etc.), e consideração de pórticos planos e espaciais para análise de vigas e pilares, sob as ações verticais e horizontais. No exemplo apresentado, utilizou-se o *software* AltoQI EBERICK (2000) para realização das análises numéricas, o qual realiza a análise não linear geométrica por meio do processo P-Delta. Os resultados apresentados reforçam a importância da utilização de núcleos rígidos em edifícios de concreto armado quanto a análise de estabilidade global de estruturas.

Palavras-chave

Núcleos rígidos, AltoQi Eberick, Estabilidade Global, Coeficiente γ_z , Ação do Vento, Efeitos de Segunda Ordem.

Introdução

A evolução das edificações, principalmente edifícios altos, considerados prédios de múltiplos pavimentos, até o estágio atual, está intimamente ligada ao desenvolvimento dos elementos estruturais. Atualmente, há disposição de diversos elementos estruturais como pilares, vigas, lajes e por sistemas de contraventamento, que devem ser escolhidos de acordo com cada caso individual, levando em conta vários fatores, tais como: custos, diretrizes arquitetônicas, altura do edifício, tipo de esforços existentes, qualidade do solo, prazos de execução, etc.

No entanto, a escolha do sistema estrutural de um edifício alto é fundamental, sendo a primeira a ser tomada na fase inicial do projeto, e devido a sua importância deverá ser uma decisão conjunta do arquiteto e do engenheiro, considerando, rigorosamente, o estado limite - último de instabilidade em estruturas de concreto armado, de acordo com a atual NBR 6118 (ABNT:2014) e demais normas correlatas.



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

Hoje, a escassez e o custo elevado de espaço em grandes cidades, fizeram com que os projetos arquitetônicos, além de aproveitar, dentro dos limites das normas regulamentadoras, a área horizontal, buscassem maximizar a altura das edificações. Com esse aumento, a preocupação em garantir a estabilidade global do conjunto passa a ganhar mais importância, sem afetar consideravelmente o dimensionamento e o custo final do projeto.

À medida que a altura do edifício aumenta, os esforços causados pelas ações horizontais (efeitos de 2ª ordem) passam a ser críticos, e a importância dos elementos responsáveis para resistir a estes esforços passa a ser preponderante, fato que diferencia a estrutura dos edifícios de múltiplos pavimentos de outros tipos de construções. A ação do vento é a principal causa desses esforços, mas também deve se atentar à assimetria da geometria da estrutura, que combinada com os esforços provenientes do vento, provoca grandes deslocamentos na estrutura. Então, uma análise de instabilidade se torna primordial. Independentemente do número de pavimentos, pilares ou dimensões, deve-se verificar se o seu sistema de travamento, está devidamente adequado. No entanto, destaca a NBR 6118 (ABNT:2014) a possibilidade da dispensa da consideração dos esforços de 2º ordem, ou seja, classificar a estrutura como de nó fixos, sem a necessidade de um cálculo rigoroso.

A NBR 6118 (ABNT:2014), traz dois parâmetros para verificar a instabilidade global da estrutura. O primeiro parâmetro é o α , que avalia se o sistema de contraventamento está coerente ou não, classificando assim em de nó fixos ou móveis, indicando se os efeitos de 2º ordem precisam ser considerados ou não. O segundo, o γ_z , válido para estruturas reticuladas de no mínimo quatro andares, além de fornecer o mesmo que o α , majora os esforços de primeira ordem.

No entanto, em edifícios de múltiplos pavimentos, deve ser dada uma atenção especial em relação, além do carregamento vertical, à transmissão e absorção de cargas horizontais relativas ao vento, logo, a adoção de estruturas rígidas, contraventadas, como núcleos rígidos, que sejam capazes de resistir aos esforços horizontais eficientemente. E conforme a NBR 6118 (ABNT:2014), os núcleos rígidos formados por associações de pilares paredes, são usualmente dispostos na vertical e submetidos preponderantemente à compressão, sendo compostos por uma ou mais superfícies associadas sendo alguma dessas superfícies menor que 1/5 da maior, ambas consideradas na seção transversal do elemento estrutural.

Justificativa de trabalho

Atualmente, além de existirem vários edifícios com problemas de inclinação, há os inclinados por intenção, como as torres Puerta da Europa, também conhecidas por Torres KIO, que são duas torres inclinadas uma contra outra, uma construção bem sucedida, em estrutura de aço construída ao redor de um núcleo rígido de concreto armado.

No entanto, este trabalho pretende devido à necessidade de construções mais altas, por falta de espaço, avaliar uma estrutura de modo a resistir a ações de forças horizontais. Logo, à medida que as edificações foram evoluindo, possuindo mais pavimentos e maior altura, a criação do modelo estrutural passou a ficar bastante complexa, pois deve garantir a segurança da estrutura diante da perda de sua capacidade resistente, causada por aumento de deformações em decorrência das ações verticais e horizontais.



Referencial Teórico

Conforme MARTINS (2008), o engenheiro de estrutura deve, basicamente, elaborar projetos seguros e que resultem em edifícios com custos de construção e manutenção relativamente baixos. Os projetos deverão ser resistentes o suficiente para absorver as ações gravitacionais devidas ao peso próprio, às cargas de utilização do prédio e às ações horizontais, provenientes de vento e de efeitos sísmicos. Logo, a necessidade de utilização de procedimentos e técnicas de cálculo deve permitir uma boa aproximação ao comportamento real da estrutura. Segundo MARTINS (2008), a classificação da estrutura de um edifício quanto ao seu grau de mobilidade, em estrutura de nós fixos ou estrutura de nós móveis, é fundamental na sua análise em relação à curvatura. Esta classificação possibilita a adoção de critérios simplificados na quantificação dos efeitos de 2.^a ordem. A NBR 6118 define os efeitos de 2.^a ordem como sendo “aqueles que se somam aos obtidos numa análise de primeira ordem (em que o equilíbrio da estrutura é estudado na configuração geométrica inicial), quando a análise do equilíbrio passa a ser efetuada considerando a configuração deformada”. A estrutura quando solicitada às ações verticais e horizontais (como é o caso do vento e das imperfeições geométricas), os deslocamentos horizontais modificam a geometria inicial da estrutura, ou seja, causam o aparecimento de importantes efeitos de segunda ordem.

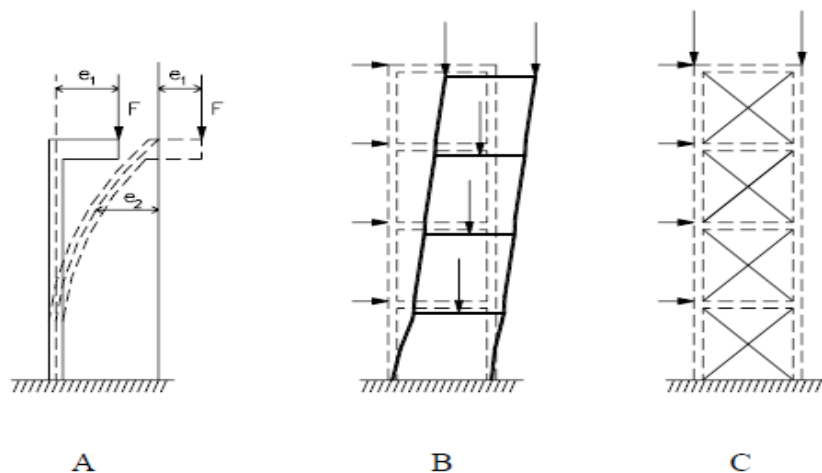


Figura 1 - Efeitos de 2º Ordem

Fonte: FUSCO, 1994.

Metodologia de Trabalho

Esse trabalho consiste em uma pesquisa teórica com aplicação prática baseada em um estudo de caso, que consiste basicamente em representar o núcleo rígido por vários elementos que simulem o seu comportamento mais precisamente, formado por pilares paredes. Tem como finalidade, desenvolver dois modelos de projeto estrutural de um edifício alto em concreto armado que sejam o mais próximo possível do real, utilizando o máximo de recursos computacionais, aperfeiçoado com núcleos rígidos para enrijecer a estrutura e



IX CONGRESSO BRASILEIRO DE PONTES E ESTRUTURAS
18 a 20 de maio, 2016 - Everest Rio Hotel

IXCBPE

Rio de Janeiro | Cidade Olímpica

redimensionando o projeto sem os núcleos, para analisar o comportamento global, a partir de um projeto arquitetônico, fornecido por um escritório de engenharia para fins acadêmicos.

Carregamentos Adotados

Para a avaliação dos modelos, foram adotados os valores abaixo para a configuração do programa. A classe de agressividade adotada é a II (Moderada), por não haver muita umidade constante e o risco de deterioração da estrutura ser pequeno. Os demais itens necessários estão descritos a seguir:

- Concreto com f_{ck} de MPa, para vigas, lajes, pilares e reservatórios;
- Concreto com f_{ck} de 35MPa para blocos;
- Armaduras tipo CA-50 E CA-60;
- Diâmetro do agregado de 19mm;
- Cobrimento de 3 cm, e 2,5 cm para lajes.

Os carregamentos adotados, correspondem a valores usuais para estruturas de edifícios residenciais. As ações verticais estão de acordo com a norma NBR 6120:1980 (Cargas para o cálculo de estruturas de edificações) e as horizontais de acordo com a NBR 6123:1988 (Forças devidas ao vento em edificações).

Para o edifício em estudo, as paredes serão consideradas de alvenaria acabada, de tijolos furados com carga de 1300 kgf/m³, com altura de 2,95 m e espessura de 15 cm. Sendo assim, as vigas receberam uma carga distribuída variando de 4,88 kN/m á 4,68 kN/m, considerando as alturas das vigas dos pavimentos superiores.

Para carga acidental, correspondente ao uso, foi adotado o valor de 1,5 kN/m² para revestimento em granito, valor esse recomendado pela NBR 6120:1980 para a maioria dos ambientes de edifícios residenciais. Para o térreo e os pavimentos tipos foram adotados os seguintes valores:

- Dormitórios, salas, copas, cozinhas e banheiros: 1,50 kN/m²;
- Compartimentos destinados às despensas, lavanderia e área de serviços: 2,00 kN/m²;
- Escadas: 3,00 kN/m².
- Terraço inacessível a pessoas: 0,70 kN/m²;

A planta baixa para estudo de caso é de edifício localizado no município de Palmas-TO, no Plano Diretor Sul, Arse 33 (308 Sul). Trata-se de uma obra residencial multifamiliar. O terreno para execução tem área de 1605,18 m². A edificação será constituída por 15 (quinze) pavimentos, sendo 12 pavimentos tipos, subsolo, térreo e a cobertura.

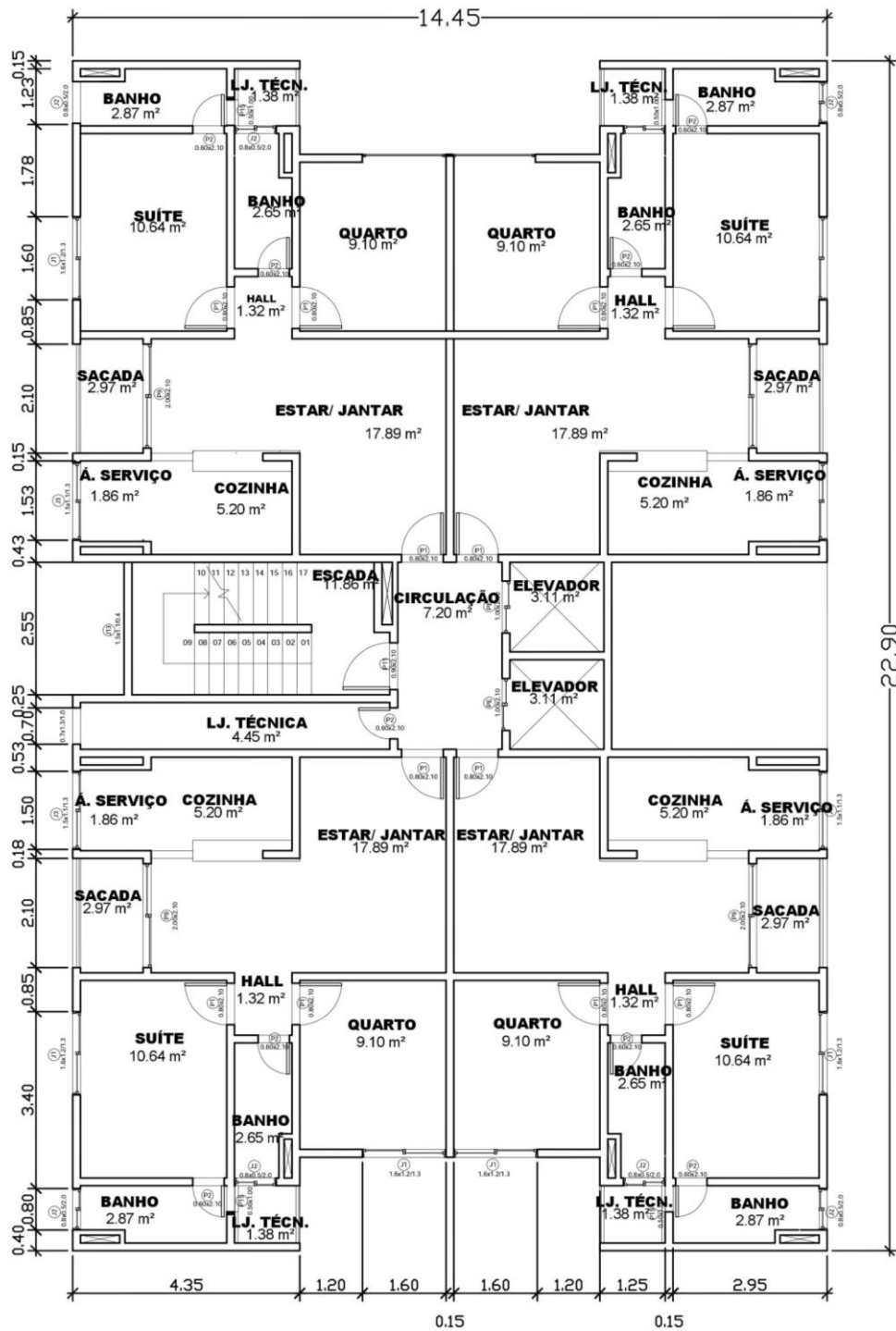


Figura 2 - Planta Baixa

As seções foram definidas após pré-dimensionamento e foram ajustadas conforme a necessidade do projeto.

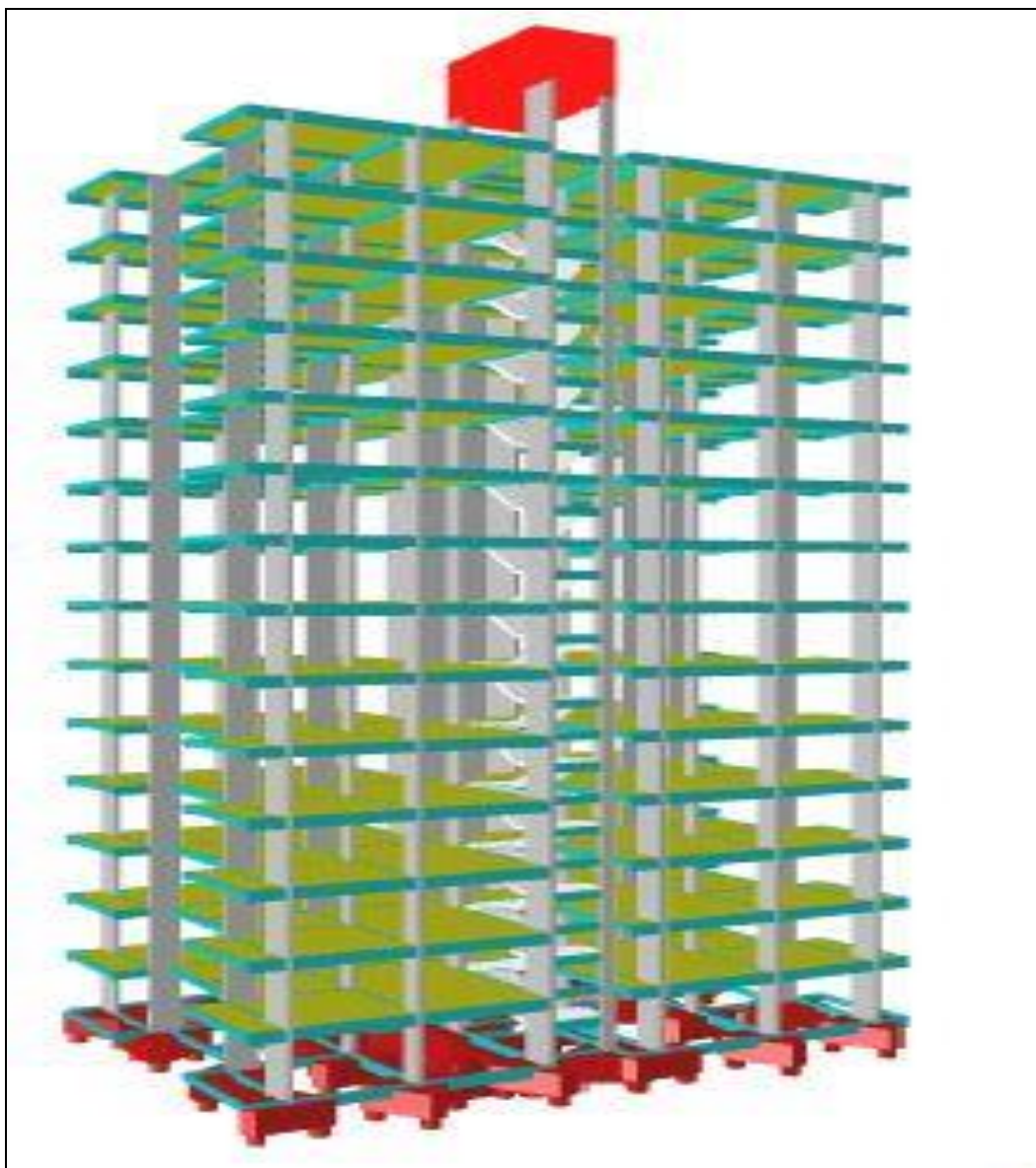


Figura 3 - Representação 3D da edificação lançada no Eberick
Fonte: AltoQi Eberick

Na figura 3, pode ser vista a estrutura lançada no *software* Eberick (2000), em 3D.

Após a verificação de lançamentos, alinhamentos e detecção de proximidades, a estrutura foi processada.

Foi também realizado, através do programa computacional EBERICK (2000), para o edifício em estudo, a verificação da influência do núcleo rígido no comportamento da estrutura.

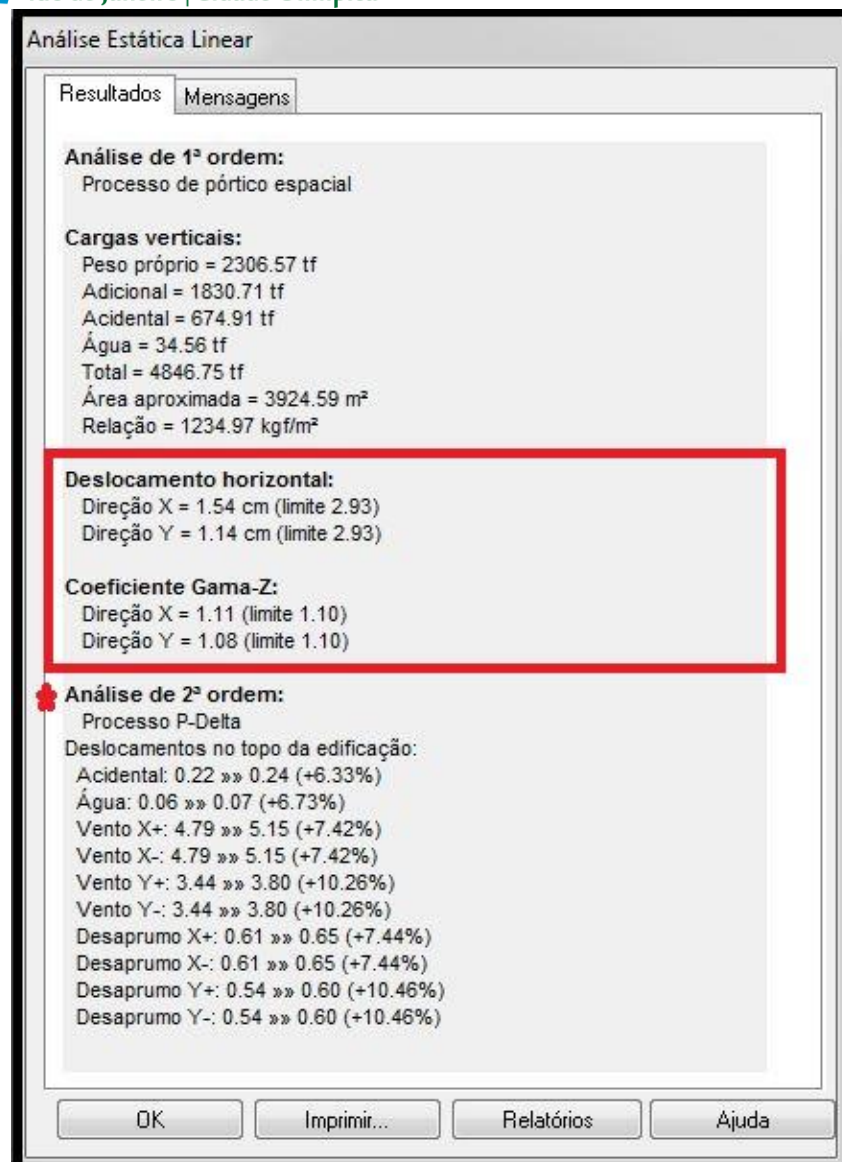


Figura 4 - Processamento do primeiro modelo

Fonte: Gold (2015).

Dimensiona-se a estrutura de forma a atender aos deslocamentos limites e à estabilidade global. Pode se verificar que a estrutura apresenta valores bem inferiores nos deslocamentos limites e um grau de estabilidade ideal, conforme KIMURA (2007), “edifícios de concreto armado com valores de γ_z superiores a 1,3 possui grau de instabilidade elevado. O ideal é projetar estruturas com γ_z inferiores a 1,2”.

Foi lançado o segundo modelo, partindo do modelo anterior, porém eliminando a prumada do Pilar U, e adotando dois pilares parede ao redor dos elevadores de dimensões 20x120cm. Posteriormente, foi processado o segundo modelo estrutural, para os mesmos carregamentos, visando analisar o quanto o núcleo rígido contribuiu para a rigidez da estrutura.

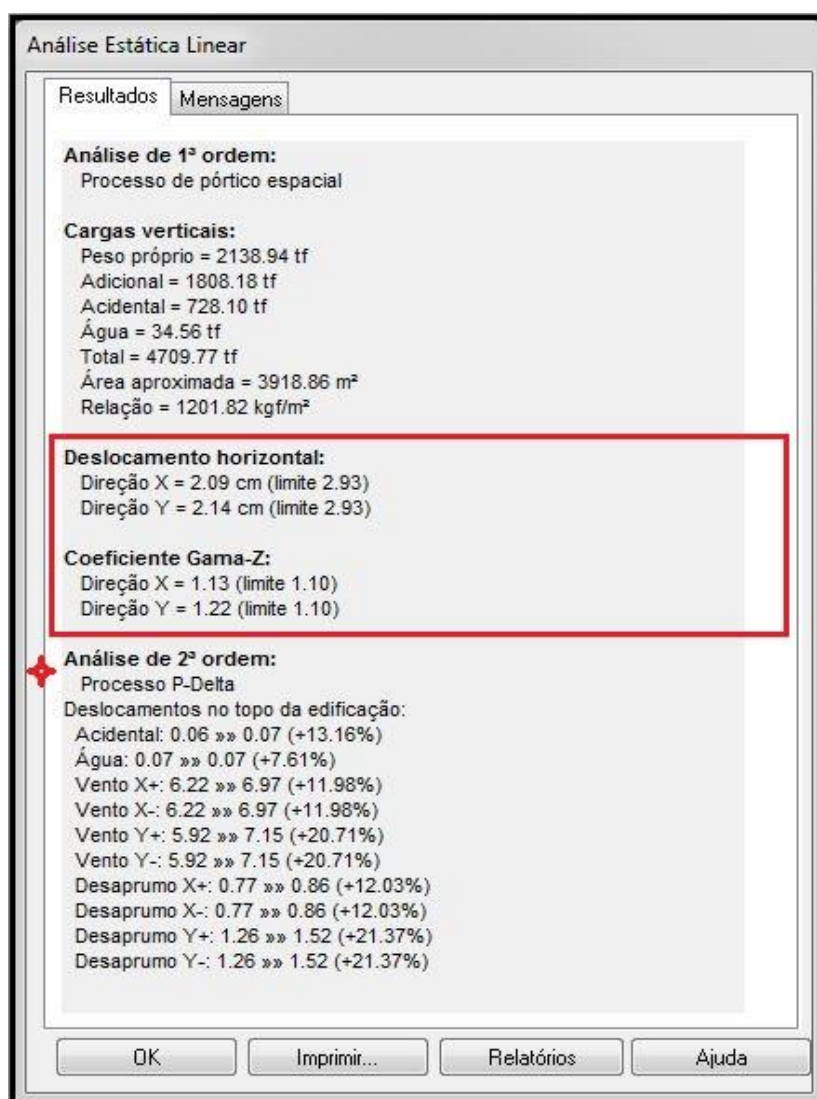


Figura 5 - Processamento Modelo 02

Analisando o segundo processamento (Figura 05), onde a estrutura não apresenta o núcleo de rigidez, nota-se que o parâmetro de instabilidade não atendeu ao coeficiente ideal de γ_z , menor que 1,2, de acordo com KIMURA (2007).



Nas tabelas 1 e 2, podemos analisar os resumos dos diferentes modelos da estrutura, porém apenas foram feitas as comparações das vigas, pilares e lajes.

Tabela 1- Resumo de materiais modelo 01

		Vigas	Pilares	Lajes	Lajes PM	Escadas	Fundações	Reservatórios	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	15271.8	42843.4	5587.0	2189.8	2163.9	10137.6	1488.2	77491.9
	CA60	2383.1	4160.5	886.1	599.6	98.9	2284.7	56.1	9869.4
	Total	17654.9	47003.9	6473.1	2789.3	2262.8	12422.3	1544.3	87361.3
Volume concreto (m³)	C-25	179.3	297.0	347.4		32.3		8.4	864.3
	C-35						196.8		196.8
Peso treliças	C-60				5731.7				5866.3
Área de forma (m²)		2829.8	3291.3			278.7	301.2	115.3	6816.2
Consumo de aço (kgf/m³)		98.5	158.3	18.6		70.2	63.1	184.9	82.3

Fonte: Autor

Tabela 2- Resumo de materiais modelo 02

		Vigas	Pilares	Lajes	Lajes PM	Escadas	Fundações	Reservatórios	Total
Peso total + 10% (kg)	CA50	18186.4	29843.1	6172.8	2164.9	2177.7	7641.8	1269.1	65291.0
	CA60	2585.1	4193.6	898.5	546.7	95.6	1882.4	44.7	9699.8
	Total	20771.5	34036.7	7071.3	2711.5	2273.3	9524.2	1313.8	74990.8
Volume concreto (m³)	C-25	190.0	233.0	351.3		32.3		8.4	814.9
	C-35						221.5		221.5
Peso treliças	C-60				5758.6				5758.6
Área de forma (m²)		2992.0	2849.0			278.8	328.7	115.3	6563.7
Consumo de aço (kgf/m³)		109.3	146.1	20.1		70.5	43.0	157.3	72.4

Fonte: Autor

Para as lajes, tanto nas armaduras positivas quanto nas armaduras negativas, mesmo que elas tenham sido calculadas com o método das grelhas, observou-se que quase não houve variação no consumo de aço total. Isto ocorreu, além de se tentar padronizar o tipo de laje e suas dimensões, pela consideração do programa, no seu método de cálculo, de não considerar a rigidez das lajes na análise de pórtico espacial.

Conclusões

Ambos os modelos estruturais, a partir do resultado do coeficiente γ_z , foram classificados como de nós móveis. A diferença de resultados das direções "x" e "y" é devida a que os principais pórticos de contraventamento estão direcionados em "x". No entanto, o primeiro



modelo tem o menor valor do coeficiente na direção y , pelo fato que o pilar U , minimiza os efeitos dos esforços horizontais aplicados nesta direção.

Na direção X houve um acréscimo de 35,71%, e na direção Y de 87,72%, mas ainda assim os limites foram atendidos. Porém vale salientar que o peso próprio foi reduzido de 2306,57 tf para 2138,94 tf, em torno de 7,27%, fato que contribuiu para a variação nos deslocamentos.

O deslocamento horizontal da estrutura constitui-se em um importante resultado a ser determinado pela análise estrutural, tanto para a verificação de ELS como para a verificação da estabilidade global do edifício.

O deslocamento frequente é causado pela ação do vento para combinação frequente ($\Psi_1=0,30$). Portanto, deve-se multiplicar o deslocamento característico pelo fator Ψ_1 para se obter o deslocamento frequente e em seguida pode-se compará-lo com o deslocamento limite.

Quanto à variação global do consumo de aço por metro cúbico (kgf/m^3) para o edifício, constatou-se que o modelo 02 sofreu um acréscimo de 12,03%. Devido a essa variação, vale a pena comparar que é considerado na construção civil, em termos de orçamento, um acréscimo de aproximadamente 5% no consumo de aço, devido às perdas na montagem das armaduras. Então o que se percebe é que a variação do consumo de aço foi satisfatória.

Logo, podemos concluir que o núcleo rígido, no primeiro modelo estrutural, trouxe melhores parâmetros de instabilidade, mas nada que classificasse o segundo modelo como inviável. Vale salientar, que o núcleo rígido além de ser de difícil execução, exige uma análise de suas tensões e exigir uma fundação mais robusta, com, por exemplo, blocos em grandes dimensões.

Referências Bibliográficas

- ALTOQI INFORMÁTICA. AltoQi Eberick – Manual do Usuário. Florianópolis, SC, 2000.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.
- _____. NBR 6120: Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- _____. NBR 6123: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.
- CUNHA, L. A. Influência de sistemas de contraventamento no comportamento global de estruturas de edifícios altos. 2014. 33 p. Projeto de graduação apresentado como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil, Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2014.
- EBERICK Gold, version 8.0: project planning software. AltoQi, 2012.
- FUSCO, P. B. Estruturas de Concreto: Solicitações Normais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1981.
- KIMURA, A. Informática aplicada em estruturas de concreto armado: cálculo de edifícios com o uso de sistemas computacionais. 1ª edição. São Paulo, SP: Editora Pini, 2007.
- MARTINS, Carlos Humberto. Análise não linear de estruturas tridimensionais de edifícios de andares múltiplos com núcleos resistentes, considerando a rigidez transversal à flexão das lajes. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. 2001